

## Beschreibung

### Empfängerschaltung

#### 5 Technisches Gebiet:

Die Erfindung bezieht sich auf eine Empfängerschaltung mit einer optischen Empfangseinrichtung und mit einem der optischen Empfangseinrichtung nachgeschalteten Verstärker. Auf die optische Empfangseinrichtung einfallendes Licht - 10 beispielsweise Licht aus einem optischen Lichtwellenleiter eines optischen Datenübertragungssystems - wird von der optischen Empfangseinrichtung unter Bildung eines elektrischen Signals (z. B. eines Fotostroms) detektiert; anschließend wird das elektrische Signal von dem 15 nachgeschalteten Verstärker verstärkt.

Eine optische Empfängerschaltung mit einer optischen Empfangseinrichtung und mit einem nachgeschalteten Verstärker ist beispielsweise in dem Artikel „High Gain Transimpedance 20 Amplifier in InP-Based HBT Technology for the Receiver in 40-Gb/s Optical-Fiber TDM Links“ (Jens Müllrich, Herbert Thurner, Ernst Müllner, Joseph F. Jensen, Senior Member, IEEE, William E. Stanchina, Member, IEEE, M. Kardos, and Hans-Martin Rein, Senior Member, IEEE - IEEE Journal of Solid 25 State Circuits, vol. 35, No. 9, September 2000, Seiten 1260 bis 1265) beschrieben. Bei dieser Empfängerschaltung ist eingangsseitig ein differenziell betriebener Transimpedanzverstärker - also ein Differenzverstärker - vorhanden, der mit einem Eingang an eine Photodiode als 30 Empfangseinrichtung angeschlossen ist. Der andere Eingang des differenziell betriebenen Transimpedanzverstärkers ist mit einem Gleichstromverstärker verbunden, der einen „Korrekturstrom“ zur Offset-Korrektur des Fotostromes der Photodiode in den Differenzverstärker einspeist. Die Größe 35 dieses eingespeisten „Korrekturstromes“ beträgt die Hälfte des Stromhubs der Photodiode im Betrieb.

Zusammenfassung der Erfindung:

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Empfängerschaltung anzugeben, die sich besonders universell einsetzen lässt.

5

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine optische Empfängerschaltung mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in Unteransprüchen angegeben.

10

Danach ist erfindungsgemäß eine Empfängerschaltung mit einer optischen Empfangseinrichtung und einem nachgeschalteten Verstärker vorgesehen. Der Verstärker weist erfindungsgemäß zumindest einen Steueranschluss auf, mit dem die Verstärkung des Verstärkers benutzerseitig mindestens zwischen zwei Verstärkungswerten umschaltbar ist.

Ein wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen Empfängerschaltung ist darin zu sehen, dass diese eine optimale optische Empfindlichkeit ermöglicht. Aufgrund der erfindungsgemäßen Einstellbarkeit der Verstärkung des Verstärkers ist es nämlich möglich, je nach der vorgegebenen bzw. zu erreichenden Bandbreite der Empfängerschaltung die maximale Verstärkung des Verstärkers einzustellen. Beispielsweise kann aufgrund des näherungsweise konstanten Bandbreite(B)-Verstärkungs(V)-Produkts ( $B \cdot V = K$ ; K ergibt sich aus der individuellen Gestaltung der Empfängerschaltung) die maximale Verstärkung V und damit die maximale Empfindlichkeit der Empfängerschaltung eingestellt werden, indem

$$V = K / B$$

gewählt wird. Die erfindungsgemäße Empfängerschaltung ist somit für unterschiedliche Datenraten optimal einsetzbar. So kann die erfindungsgemäße Empfängerschaltung aufgrund der

umschaltbaren Verstärkung beispielsweise an Übertragungsraten von 1 Gbps (Giga-Bit pro Sekunde), 2 Gbps oder 4 Gbps individuell angepasst werden.

- 5 Ein weiterer wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen Empfängerschaltung besteht in ihrem optimalen Rauschverhalten. Wird beispielsweise als Empfangseinrichtung eine Fotodiode und als Verstärker ein Transimpedanzverstärker eingesetzt, so spielt bei dem Verstärker das Stromrauschen
- 10 eine besonders relevante Rolle. Das Stromrauschen wird jedoch zu höheren Verstärkungen des Verstärkers hin in der Regel geringer, so dass bei Wahl der optimalen - also maximalen Verstärkung - auch das Stromrauschen des Verstärkers abnimmt. Aber auch bei anderen Verstärkertypen gilt allgemein, dass
- 15 bei einer größeren Verstärkung das Signal-Rauschverhältnis besser wird. Zusammengefasst lässt sich durch das benutzerseitige Einstellen des optimalen Verstärkungswertes je nach dem jeweiligen Bandbreite-Erfordernis ein optimales Rauschverhalten bei der Empfängerschaltung erzielen.
- 20 Vorzugsweise wird als optische Empfangseinrichtung eine Fotodiode verwendet, da diese einfach und kostengünstig herstellbar ist. Als Verstärker besonders geeignet sind beispielsweise Transimpedanzverstärker.
- 25 Vorzugsweise weist der Verstärker einen Rückkopplungswiderstand auf, der die Verstärkung des Verstärkers beeinflusst. Mittels des zumindest einen Steueranschlusses ist dann die Impedanz des
- 30 Rückkopplungswiderstandes benutzerseitig von außen einstellbar. Insbesondere sollte der ohmsche Widerstandswert des Rückkopplungswiderstandes mittels des zumindest einen Steueranschlusses benutzerseitig einstellbar sein.
- 35 Um die Einstellbarkeit des Widerstandswertes des Rückkopplungswiderstandes besonders einfach gewährleisten zu

können, wird gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Empfängerschaltung vorgeschlagen, dass der Rückkopplungswiderstand durch ein Widerstandsnetzwerk mit zumindest einer Schalteinrichtung gebildet ist, die

5 benutzerseitig mittels des zumindest einen Steueranschlusses umschaltbar ist und die im Falle eines Umschaltens die Impedanz bzw. den ohmschen Widerstandswert des Widerstandsnetzwerks verändert.

10 Die Schalteinrichtung ist vorzugsweise durch einen Schalttransistor, insbesondere einen MOS-FET-Transistor gebildet.

15 Gemäß einer anderen vorteilhaften Weiterbildung der Empfängerschaltung wird vorgeschlagen, dass der Rückkopplungswiderstand durch ein Widerstandsnetzwerk mit zumindest einem einstellbaren Widerstand gebildet ist, dessen Widerstandswert benutzerseitig innerhalb eines vorgegebenen Widerstandsbereiches zumindest annähernd linear mittels des  
20 Steueranschlusses einstellbar ist. Der einstellbare Widerstand kann beispielsweise durch einen Transistor, insbesondere einen MOS-FET-Transistor gebildet sein.

25 Die Empfängerschaltung ist vorzugsweise in einem TO-46-Gehäuse oder in einem entsprechenden Kunststoffgehäuse (z.B. TSSOP10 oder VQFN20) verpackt.

Der Erfindung liegt darüber hinaus die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betrieb einer optischen Empfängerschaltung 30 anzugeben, bei dem je nach den im konkreten Anwendungsfall vorhandenen Bandbreite-Erfordernissen ein optimales Rauschverhalten erzielt wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren 35 gelöst, bei dem in Abhängigkeit von einer vorgegebenen Bandbreite der Empfängerschaltung ein maximaler

Verstärkungswert für einen Verstärker der Empfängerschaltung vorgegeben wird und der Verstärkungswert des Verstärkers mittels eines Steueranschlusses des Verstärkers eingestellt wird. Das Ausgangssignal einer optischen Empfangseinrichtung der Empfängerschaltung wird dann durch den Verstärker mit der eingestellten Verstärkung verstärkt.

Bezüglich der Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens wird auf die obigen Ausführungen zur erfindungsgemäßen

Empfängerschaltung verwiesen.

Der Verstärkungswert ( $V$ ) des Verstärkers kann vorzugsweise ermittelt werden gemäß

$$15 \quad V = K / B,$$

wobei  $K$  ein für die Empfängerschaltung vorab beispielsweise messtechnisch ermitteltes, maximal erreichbares Bandbreite-Verstärkungsprodukt und  $B$  die vorgegebene Bandbreite angibt.

Bei Transimpedanzverstärkern ist die Bandbreite ungefähr proportional zum Kehrwert des Rückkopplungswiderstands, also zu  $1/Rückkopplungswiderstand$ , da die Verstärkung proportional zum Rückkopplungswiderstand ist. Die Verstärkung wird dabei durch die sog. Transimpedanz bestimmt (= Ausgangsspannung / Eingangsstrom).

#### Ausführungsbeispiele:

30 Zur Erläuterung der Erfindung zeigen

Figur 1 ein erstes Ausführungsbeispiel für eine erfindungsgemäße Empfängerschaltung, mit der sich auch das erfindungsgemäße Verfahren durchführen lässt,

Figur 2 ein Ausführungsbeispiel für einen Rückkopplungswiderstand für die optische Empfängerschaltung gemäß Figur 1 und

5 Figur 3 ein weiteres Ausführungsbeispiel für eine erfindungsgemäße Empfängerschaltung.

In der Figur 1 erkennt man eine Empfängerschaltung 10 mit einer Fotodiode 20 als optischen Empfangseinrichtung. Der  
 10 Fotodiode 20 ist ein Transimpedanzverstärker 30 nachgeordnet. Der Transimpedanzverstärker 30 besteht aus einem Spannungsverstärker 40, beispielsweise einem Operationsverstärker, und einem Rückkopplungswiderstand 50. Der Rückkopplungswiderstand 50 steht mit seinem Anschluss E5  
 15 mit der Eingangsseite des Operationsverstärkers 40 und mit seinem Anschluss A50 mit der Ausgangsseite des Operationsverstärkers 40 in Verbindung.

Ausgangsseitig steht der Transimpedanzverstärker 30 außerdem  
 20 mit einem Differenzverstärker 60 in Verbindung, der das Ausgangssignal Sa des Transimpedanzverstärkers 30 verstärkt. Eine weitere Verstärkung des Signals wird durch einen weiteren Differenzverstärker 70 bewirkt, der dem einen Differenzverstärker 60 nachgeordnet ist.

25 In der Figur 1 erkennt man darüber hinaus eine Regelschaltung 80, die eingangsseitig mit den beiden Ausgängen A70a und A70b des Differenzverstärkers 70 in Verbindung steht. Die Regelschaltung 80 weist außerdem einen Steuereingang S80 auf  
 30 über den ein benutzerseitiges Steuersignal Sb in die Regelschaltung 80 einspeisbar ist. Der Steuereingang S80 bildet somit einen Steueranschluss S10 der Empfängerschaltung 10.

35 Mit einem Ausgang A80 steht die Regelschaltung 80 mit einem Steueranschluss S30 des Transimpedanzverstärker 30 und damit

mit einem Steuereingang S50 des Rückkopplungswiderstandes 5 in Verbindung. Über diesen Steuereingang S50 kann die Regelschaltung 80 den Impedanzwert, insbesondere auch den ohmschen Widerstandswert, des Rückkopplungswiderstandes 50 mittels eines aus dem benutzerseitigen Steuersignal  $S_b$  gebildeten Widerstandsvorgabesignal  $S_r$  festlegen.

Darüber hinaus ist die optische Empfängerschaltung mit einer DCC-Schaltung 90 (DCC: Duty Cycle Control) ausgestattet, die eine Regelung der optischen Empfängerschaltung bewirkt. Die DCC-Schaltung 90 bzw. die durch sie gebildete Duty-Cycle-Regelung (Offset Regelung) regelt die Abtast-Schwelle für die nachfolgenden Differenzverstärker, so dass das Signal beim 50% Wert der Amplitude abgetastet wird und sich damit keine Signalpulsverzerrungen (duty cycle) ergeben. Dies kann durch Einspeisen eines Stromes in jeweils einen der Vorverstärker (Transimpedanzverstärker) erfolgen oder auch durch Einspeise einer Spannung an den Eingängen der Differenzverstärker direkt.

Die Fotodiode 20 steht über einen aus einer Kapazität  $C_{PD}$  und einem Widerstand  $R_{PD}$  gebildeten Tiefpass 100 in Verbindung, der mit einer Versorgungsspannung VCC1 beaufschlagt ist. Der Tiefpass 100 dient dazu, eventuelle Störsignale auf der Versorgungsspannung VCC „herauszufiltern“.

Die optische Empfängerschaltung 10 gemäß der Figur 1 wird wie folgt betrieben:

Bei Lichteinfall wird von der Fotodiode 20 ein Fotostrom  $I_{photo}$  generiert und in den Transimpedanzverstärker 30 eingespeist. Dort wird der Fotostrom unter Bildung des Ausgangssignales  $S_a$  verstärkt. Das elektrische Ausgangssignal  $S_a$  wird von den beiden Differenzverstärkern 60 und 70 unter Bildung eines verstärkten Ausgangssignals  $S_a'$  weiter verstärkt und gelangt zum Ausgang A10 der optischen

Empfängerschaltung 10; der Ausgang A10 der optischen Empfängerschaltung 10 wird also durch die beiden Ausgänge A70a und A70b des weiteren Differenzverstärkers 70 gebildet

- 5 Über den Steueranschluss S90 der Regelschaltung 80 bzw. über den Steueranschluss S10 der Empfängerschaltung 10 wird benutzerseitig mittels des Steuersignals  $S_b$  die Verstärkung des Transimpedanzverstärkers 30 eingestellt. Hierzu gelangt das benutzerseitig erzeugte Steuersignal  $S_b$  zur
- 10 Regelschaltung 80, die mit ihrem Widerstandsvorgabesignal  $S_1$  den ohmschen Widerstandswert des Rückkopplungswiderstandes  $R$  einstellt. Der Betrag des Widerstandswerts ( $|R|$ ) des Rückkopplungswiderstandes 50 beeinflusst nämlich unmittelbar die Verstärkung des Transimpedanzverstärkers 30, denn es
- 15 gilt:

$$S_a = |R| * I_{photo}$$

- Bei der Anordnung gemäß der Figur 1 kann also durch das
- 20 Steuersignal  $S_b$  die Verstärkung des Transimpedanzverstärkers 30 benutzerseitig vorgegeben werden.

- Bei der Vorgabe eines optimalen Verstärkungswertes für den Transimpedanzverstärker 30 ist die jeweils geforderte
- 25 Bandbreite  $B$  zu berücksichtigen. Konkret ist bei einer sehr kleinen Bandbreite eine sehr große Verstärkung möglich, wohingegen bei einer sehr großen Bandbreite nur eine sehr kleine Verstärkung erzielt werden kann. Dies liegt konkret daran, dass in erster Näherung das Bandbreiten-
- 30 Verstärkungsprodukt ( $V * B$ ) der Empfängerschaltung 10 annähernd konstant ist und durch die individuelle Gestaltung der Empfängerschaltung vorgegeben ist. Das Produkt  $V * B$  lässt sich beispielsweise messtechnisch bestimmen.
- 35 Ist also eine bestimmte Bandbreite vorgegeben bzw. mindestens zu erreichen, so kann benutzerseitig daraus abgeleitet

werden, welche Verstärkung maximal zulässig ist. Ein entsprechender Verstärkungswert wird dann über die Wahl der entsprechenden Größe des Rückkopplungswiderstandes 50 von der Regelschaltung 80 eingestellt.

5

Über den Steuereingang S80 und damit mittels des Steuersignals Sb kann also benutzerseitig die gewünschte Verstärkung vorgegeben werden. Alternativ kann - bei einer entsprechenden Ausgestaltung der Regelschaltung 80 - benutzerseitig über das Steuersignal Sb auch eine zu erreichende Bandbreite an die Regelschaltung 80 übermittelt werden, woraus dann von der Regelschaltung 80 die maximal zulässige Verstärkung V gemäß der oben genannten mathematischen Beziehung ermittelt und über den Ausgang A80 und den Steueranschluss S50 an den Transimpedanzverstärker 3 übermittelt wird.

In Zusammenhang mit der Figur 1 wurde das benutzerseitige Steuersignal Sb über die Regeleinrichtung 80 zu dem Transimpedanzverstärker 30 geleitet. Stattdessen kann das benutzerseitige Steuersignal Sb auch unmittelbar an den Steueranschluss S30 des Transimpedanzverstärkers 30 angelegt werden.

Im Übrigen können der Transimpedanzverstärker 30, die beiden Differenzverstärker 60 und 70, die Regelschaltung 80 und die DCC-Schaltung 90 auch als eine „Verstärkereinheit“ bzw. als ein „Verstärker“ angesehen werden, dessen Steueranschluss zu Einspeisen des benutzerseitigen Steuersignals Sb durch den Anschluss S30 der Regelschaltung 80 gebildet ist.

In der Figur 2 ist ein Ausführungsbeispiel für einen Rückkopplungswiderstand 50 gemäß der Figur 1 dargestellt. Der Rückkopplungswiderstand ist durch ein Widerstandsnetzwerk gebildet. Man erkennt einen ohmschen Widerstand RF1, zu dem drei Kapazitäten CF1, CF2, CF3, CFC1 und CFC2 parallel

geschaltet sind. Außerdem liegen zu dem Widerstand RF1 weitere ohmsche Widerstände RF2 und RF3 parallel.

Wie sich in der Figur 2 erkennen lässt, sind der Widerstand  
5 RF2 sowie die Kapazität CF2 parallel geschaltet und stehen  
mit einem Schalttransistor 210 in Verbindung. Ist der  
Schalttransistor 210 ausgeschaltet, so spielen der Widerstand  
RF2 sowie die Kapazität CF2 für die gesamte Impedanz des  
Widerstandsnetzwerks keine Rolle. Ist hingegen der  
10 Schalttransistor 210 eingeschaltet, so bilden die Widerstände  
RF1 und RF2 eine ohmsche Parallelschaltung, so dass sich der  
gesamte ohmsche Widerstandswert des Widerstandsnetzwerks  
reduziert. In entsprechender Weise erhöht die Kapazität CF2  
den gesamten Kapazitätswert des Widerstandsnetzwerks, da sic  
15 die Kapazität CF2 zu der Kapazität CF1 addiert.

In entsprechender Weise kann durch einen zweiten  
Schalttransistor 220 der Widerstand RF3 und die Kapazität CF  
parallel zu dem ersten Widerstand RF1 geschaltet werden.

20 In der Figur 2 erkennt man darüber hinaus einen MOS-FET-  
Transistor 230, der einen linear steuerbaren Widerstand  
darstellt. Je nach der an dem MOS-FET-Transistor angelegten  
Gate-Spannung ergibt sich ein Transistorwiderstand, der  
25 parallel zu dem ersten Widerstand RF1 geschaltet ist und  
damit den gesamten ohmschen Widerstandswert des  
Widerstandsnetzwerks linear reduziert. Durch Anlegen der  
Gate-Spannung lässt sich der Widerstand des  
Widerstandsnetzwerks stufenlos einstellen.

30 Über einen dritten Schalttransistor 240 und einen vierten  
Schalttransistor 250 lassen sich die Kapazität CFC1 und die  
Kapazität CFC2 ebenfalls parallel zu dem ersten Widerstand  
RF1 schalten bzw. auch „abschalten“.

35 In der Figur 2 erkennt man darüber hinaus eine

Kodiereinrichtung 300, deren Eingang E300 den Steueranschluss S50 des Rückkopplungswiderstandes 50 gemäß der Figur 1 bildet. Ausgangsseitig steht die Kodiereinrichtung 300 mit den vier Schalttransistoren 210, 220, 240 und 250 sowie mit 5 dem linear arbeitenden MOS-FET-Transistor 230 in Verbindung.

Die Kodiereinrichtung 300 dient dazu, das von der Regelschaltung 80 gebildete Widerstandsvorgabesignal  $S_r$  derart umzukodieren, dass der Rückkopplungswiderstand 50 bzw. 10 das Widerstandsnetzwerk die gewünschte Impedanz bildet und damit der Transimpedanzverstärker 30 die erforderliche Verstärkung erzielt.

Das Widerstandsnetzwerk wird zum Betrieb der 15 Empfängerschaltung gemäß der Figur 1 wie folgt angesteuert:

Der Widerstand RF1 dient zum Einstellen der größten Verstärkung und damit der kleinsten Bandbreite des Transimpedanzverstärkers 30. In dieser Betriebsart - also bei 20 kleinster Bandbreite - sind der zweite Widerstand RF2 und der dritte Widerstand RF3 durch die beiden Schalttransistoren 210 und 220 abgeschaltet. Zur Kompensation gegen Schwingungsneigungen der Empfängerschaltung 10 dient die Kapazität CF1.

25 Wird nun eine höhere Datenrate benötigt, so wird beispielsweise der zweite Widerstand RF2 zugeschaltet; damit entsteht durch die Parallelschaltung der beiden Widerstände RF1 und RF2 ein kleinerer Transimpedanzwiderstand, wodurch 30 die Verstärkung des Transimpedanzverstärkers 30 herabgesetzt und die Bandbreite erhöht wird.

Durch eine weitere Zuschaltung - beispielsweise des dritten 35 Widerstandes RF3 - kann der ohmsche Widerstand des Rückkopplungswiderstandes 50 und damit die Verstärkung des Transimpedanzverstärkers 30 weiter reduziert werden, wodurch

- die Bandbreite weiter gesteigert wird. Die zur Kompensation gegen Schwingneigungen gegebenenfalls nötigen Kompensationskapazitäten CF2 und CF3 werden gleichzeitig mit den beiden Widerständen RF2 und RF3 durch die beiden
- 5 Schalttransistoren 210 und 220 hinzu geschaltet. Die Umschaltung der Transistoren 210, 220, 230, 240 und 250 erfolgt dabei mittels der Kodiereinrichtung 300 über das Steuersignal SV.
- 10 Die Funktion des MOS-FET-Transistors 230, der ebenfalls durch die Kodiereinrichtung 300 und die Regelschaltung 80 gesteuert wird, dient vornehmlich zur Amplitudenregelung. Steigt die Ausgangsleistung des Transimpedanzverstärkers zunehmend an, so wird der Transistor 230 linear angesteuert, so dass der
- 15 Rückkopplungswiderstand (Transimpedanzwiderstand) 50 des Transimpedanzverstärkers 30 kontinuierlich verkleinert wird: Eine Übersteuerung des Transimpedanzverstärkers 30 lässt sich in dieser Weise verhindern. Um eine Zunahme der Ausgangsleistung des Transimpedanzverstärkers 30 erkennen zu
- 20 können, ist die Regelschaltung 80 gemäß der Figur 1 mit den Ausgangssignalen Sa' und -Sa' des weiteren Differenzverstärkers 70 verbunden.
- 25 Die zusätzlichen Kapazitäten CFC1 und CFC2 können mit den dazugehörigen Schalttransistoren 240 und 250 zugeschaltet werden, um Schwingungen zu vermeiden; dies kann insbesondere dann nötig sein, wenn der Rückkopplungswiderstand 50 des Transimpedanzverstärkers 30 aufgrund des MOS-FET-Transistors 230 linear verkleinert wird.
- 30 Zusammengefasst wird bei dem Ausführungsbeispiel gemäß der Figur 2 eine Reduktion des Rückkopplungswiderstandes 50 durch ein „paralleles“ Zuschalten von Widerständen und/oder Kapazitäten bewirkt. Anstatt dessen bzw. zusätzlich kann eine
- 35 Umschaltung der Impedanz des Rückkopplungswiderstandes 50 auch durch eine Serienschaltung von zuschaltbaren

Widerständen und/oder zuschaltbaren Kapazitäten erreicht werden.

- Die Kodiereinrichtung 300 kann beispielsweise durch eine integrierte Schaltung gebildet sein, die das Widerstandsvorgabesignal  $S_r$  entsprechend derart umsetzt, dass die Transistoren 210, 220, 230, 240 und 250 wie oben erläutert angesteuert werden.
- 10 In der Figur 3 ist ein zweites Ausführungsbeispiel für eine erfindungsgemäße optische Empfängerschaltung 10 dargestellt. Die optische Empfängerschaltung gemäß der Figur 3 unterscheidet sich von der Empfängerschaltung gemäß der Figur 1 durch einen zusätzlichen Empfängerzweig 400, der dem 15 Differenzverstärker 60 vorgeschaltet ist. Der zusätzliche Empfängerzweig 400 weist eine „Dummy“-Fotodiode 410 auf, die mit dem Tiefpass 100 und damit mit der Versorgungsspannung VCC1 in Verbindung steht. Die „Dummy“-Fotodiode 410 ist an einen Transimpedanzverstärker 420 angeschlossen, der 20 ausgangsseitig an einen weiteren Eingang des Differenzverstärkers 60 angeschlossen ist.

Die Funktion der „Dummy“-Fotodiode 410 besteht darin, das elektrische Verhalten der Fotodiode 10 nachzubilden, und zwar 25 für einen „beleuchtungsfreien Fall“. Unter einem „beleuchtungsfreien Fall“ wird dabei verstanden, dass sich die „Dummy“-Fotodiode 410 weitestgehend genauso verhält wie die Fotodiode 10, wenn kein zu detektierendes Licht auf die Fotodiode auftrifft. Um zu vermeiden, dass Licht auf die 30 „Dummy“-Fotodiode 410 treffen kann, ist diese entsprechend abgedunkelt, was in der Figur 3 durch einen Balken dargestellt ist.

Ein Vorteil der Empfängerschaltung gemäß der Figur 3 besteht 35 darin, dass dieses ein „volldifferenzielles“ Design bzw. eine quasisymmetrische eingangsseitige Beschaltung des

- Differenzverstärkers 60 aufweist. Das volldifferenzielle Design beruht dabei auf der „Dummy“-Fotodiode 410, die das elektrische Verhalten der Fotodiode 10 im beleuchtungsfreien Fall nachbildet. Aufgrund der „Dummy“-Fotodiode 410 ist der 5 Differenzverstärker 60 symmetrisch beschaltet, so dass hochfrequente Störungen effektiv unterdrückt werden. Hochfrequente Störungen werden nämlich aufgrund der symmetrischen eingangsseitigen Beschaltung des Differenzverstärkers 60 an beiden Eingängen E60a und E60b 10 des Differenzverstärkers 60 gleichzeitig auftreten, so dass die Störungen dank der bei dem Differenzverstärker 60 üblicherweise hohen Gleichtaktuntersrückung weitestgehend unterdrückt werden.
- 15 Die optische Empfängerschaltung gemäß der Figur 3 ist damit eine Weiterbildung der in der Figur 1 beschriebenen Empfängerschaltung, die zwar eingangsseitig einen Differenzverstärker aufweist, jedoch eingangsseitig 20 asymmetrisch beschaltet. Potentielle Störelemente, wie der Bonddraht der Fotodiode 10, die Kapazität der Fotodiode 10 sowie weitere kapazitäre Aufbauelemente - beispielsweise Kapazitäten und Induktivitäten im Bereich der Fotodiode 10 - spielen bei der Anordnung gemäß der Figur 3 keine Rolle, da deren Einfluss bzw. deren Störsignale vom dem 25 Differenzverstärker 60 unterdrückt werden. Dies beruht konkret darauf, dass die auf die Fotodiode 10 zurückgehenden Störsignale in entsprechender Weise von der „Dummy“-Fotodiode 410 gebildet werden und somit „im Gleichtakt“ zum Differenzverstärker 60 gelangen und dort unterdrückt werden.
- 30 Um einen vollsymmetrischen Betrieb der optischen Empfängerschaltung gemäß der Figur 3 zu ermöglichen, ist die Regelschaltung 90 ausgangsseitig mit ihrem Ausgang A80 sowohl an den Rückkopplungswiderstand 50 des 35 Transimpedanzverstärkers 30 als auch an einen Rückkopplungswiderstand 430 des ebenfalls einen

Operationsverstärker 440 aufweisenden Transimpedanzverstärkers 420 angeschlossen, so dass die beiden Rückkopplungswiderstände 50 und 430 in gleicher Weise angesteuert werden.

5

Die beiden Transimpedanzverstärker 30 und 420 weisen somit dasselbe Verstärkungsverhalten auf, so dass ein „vollsymmetrischer“ Betrieb des Differenzverstärkers 60 ermöglicht ist, weil der durch die Fotodiode 10 gebildete Empfängerzweig und der durch die „Dummy“-Fotodiode 410 gebildete zusätzliche Empfängerzweig 400 parallel liegen.

10

Bezüglich der übrigen Eigenschaften der Empfängerschaltung gemäß der Figur 3 wird auf die obigen Ausführungen im Zusammenhang mit der Figur 1 verwiesen. Beispielsweise kann das Widerstandsnetzwerk gemäß der Figur 2 als Rückkoppelwiderstand 50 und als Rückkoppelwiderstand 430 eingesetzt werden.

15

20 In der Figur 3 sind darüber hinaus Anschlusspads 500 und 510 erkennbar, die mittels eines Bonddrahtes 520 miteinander verbunden werden können. Durch einen solchen Bonddraht 520 lässt sich die Kapazität  $C_{SYM}$  an den weiteren Transimpedanzverstärker 420 anschließen. Die Kapazität  $C_{SYM}$  kann dabei die „Dummy“-Fotodiode 410 ersetzen, wenn eine solche Fotodiode 410 nicht zur Verfügung steht. Die Kapazität  $C_{SYM}$  ist dann vorzugsweise derart bemessen, dass sie im Wesentlichen der Kapazität der „fehlenden“ Dummy-Fotodiode 410 bzw. der Kapazität der Nutzdiode 10 entspricht.

25

30

## Bezugszeichenliste

	10	Empfängerschaltung
	20	Fotodiode
5	30	Transimpedanzverstärker
	40	Operationsverstärker
	50	Rückkopplungswiderstand (Transimpedanzwiderstand)
	60	Differenzverstärker
	70	Weiterer Differenzverstärker
10	80	Regelschaltung
	90	DCC-Schaltung
	100	Tiefpass
	200/210	Schalttransistor
	220	Schalttransistor
15	230	Linear steuerbarer MOS-FET-Transistor
	240	Schalttransistor
	250	Schalttransistor
	300	Kodiereinrichtung
	400	Zusätzlicher Empfängerzweig
20	410	„Dummy“-Fotodiode
	420	Zweiter Transimpedanzverstärker
	500	Anschlusspad
	510	Anschlusspad
	520	Bonddraht
25	Sr	Widerstandsvorgabesignal
	Sb	benutzerseitiges Steuersignal

**Patentansprüche****1. Empfängerschaltung (10)**

- mit einer optischen Empfangseinrichtung (20) und
- 5 - mit einem mit der Empfangseinrichtung (20) verbundenen Verstärker (30),
- wobei der Verstärker (30) zumindest einen Steueranschluss (S30) aufweist, mit dem die Verstärkung (V) des Verstärkers (30) mindestens 10 zwischen zwei Verstärkungswerten benutzerseitig umschaltbar ist.

**2. Empfängerschaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Verstärker ein  
15 Transimpedanzverstärker (30) ist.****3. Empfängerschaltung nach einem der vorangehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass der Verstärker (30)  
einen Rückkopplungswiderstand (50) aufweist, der die  
20 Verstärkung (V) des Verstärkers (30) beeinflusst.****4. Empfängerschaltung nach einem der vorangehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Impedanz des  
Rückkopplungswiderstandes (50) mittels des zumindest einen  
25 Steueranschlusses (S30) benutzerseitig einstellbar ist.****5. Empfängerschaltung nach Anspruch 4, dadurch  
gekennzeichnet, dass der ohmsche Widerstandswert des  
Rückkopplungswiderstandes (50) mittels des Steueranschlusses  
30 (S30) benutzerseitig einstellbar ist.****6. Empfängerschaltung nach einem der vorangehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass der  
Rückkopplungswiderstand (50) durch ein Widerstandsnetzwerk  
35 mit zumindest einer Schalteinrichtung (210, 220, 230, 240,  
250) gebildet ist, die benutzerseitig mittels des zumindest**

einen Steueranschlusses (S30) umschaltbar ist und die die Impedanz des Rückkopplungswiderstandes (50) beim Umschalten verändert.

5 7. Empfängerschaltung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Schalteinrichtung durch einer Schalttransistor gebildet ist.

10 8. Empfängerschaltung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Schalttransistor ein MOS-FET-Transistor oder ein Bipolartransistor ist.

15 9. Empfängerschaltung nach einem der vorangehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass der Rückkopplungswiderstand (50) durch ein Widerstandsnetzwerk mit zumindest einem einstellbaren Widerstand gebildet ist, dessen Widerstandswert innerhalb eines vorgegebenen Widerstandsbereichs zumindest annähernd linear mittels des Steueranschlusses (S30) benutzerseitig einstellbar ist.

20 10. Empfängerschaltung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der einstellbare Widerstand durch einen Transistor (230) gebildet ist.

25 11. Empfängerschaltung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der einstellbare Widerstand durch einen MOS-FET-Transistor oder einen Bipolartransistor gebildet ist.

30 12. Empfängerschaltung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Empfangseinrichtung eine Photodiode (20) ist.

35 13. Empfängerschaltung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die

Empfängerschaltung in einem TO-46-Gehäuse, einem TSSOP10-Gehäuse oder einem VQFN20-Gehäuse verpackt ist.

14. Empfängerschaltung nach Anspruch 13, dadurch

5 gekennzeichnet, dass der zumindest eine Steueranschluss (S30) durch ein Anschlusspin des Gehäuses gebildet ist.

15. Verfahren zum Betrieb einer optischen Empfängerschaltung bei dem

10

- in Abhängigkeit von einer für die Empfängerschaltung (10) vorgegebenen Bandbreite ein Verstärkungswert für einen Verstärker der Empfängerschaltung vorgegeben wird,
- der Verstärkungswert des Verstärkers an einem Steueranschluss (S30) des Verstärkers (30) eingestellt wird und
- das Ausgangssignal einer optischen Empfangseinrichtung (20) der Empfängerschaltung mit dem vorab eingestellten Verstärker verstärkt wird.

15

20 16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch

wird gemäß

25

$$V = K / B,$$

30 wobei K ein für die Empfängerschaltung vorab ermitteltes, maximal erreichbares Bandbreiten-Verstärkungsprodukt angibt und B die vorgegebene Bandbreite bezeichnet.

35

**Zusammenfassung****Empfängerschaltung**

- 5 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Empfängerschaltung anzugeben, die sich besonders universell einsetzen lässt.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine  
10 Empfängerschaltung (10) mit einer optischen Empfangseinrichtung (20) und mit einem mit der Empfangseinrichtung (20) verbundenen Verstärker (30), wobei der Verstärker (30) zumindest einen Steueranschluss (S30) aufweist, mit dem die Verstärkung (V) des Verstärkers (30)  
15 mindestens zwischen zwei Verstärkungswerten benutzerseitig umschaltbar ist.

20 Fig. 1